水力發电建設常識

第四分册 水工結構

張 明 顯編著



电力工業出版社



目　錄

第一章 概 論

一、水工結構的意义和基本概念

水工結構是研究並提出充分利用天然水力資源所需要的技術措施。为了要控制水流叫它为人類服务，必須改变它原來的狀态。像築攔河壩抬高水位，形成水庫，將它的天然流量，重新加以分配，以符合我們的要求，这样也可消除洪水的災害；像建築引水渠道，將陡坡改成緩坡，可以得到水头，用來發电；引水到田地裏去灌漑，到城市裏去供給市民用水等，都要有一定的建築物來完成这些任务。研究这些建築物的建造型式，決定它的位置大小尺寸，以及研究建築物在各种作用力下是否安全和經济，这就是水工結構的基本任务。

水工結構按照其作用可以分为一般的和專門的兩种：一般的水工結構是应用在水利事業中所有的或某一些部門的建築物，像攔河壩、引水道、排水道等，在發电、防洪、灌漑、給水等各种事業中都要使用

到：有一些水工結構是專門適用於某一水利事業中的，像水电站廠房、調压塔、压力水管等只有水力發电才用，像船閘碼头只有航运才用，其他像灌溉、給水、筏道等，都因各有不同的要求而有專門的結構物。由於現代的水工結構所組成的水力樞紐是綜合利用的，就是說每一个水力樞紐的建造往往要滿足好幾个水利事業部門的要求，所以在一个水力樞紐內，就包含了好幾种專門的水工結構物。

二、水工結構的特點

水工結構物与一般的民用建築或工業建築結構物不同，原因是：

（1）水对結構物的作用

水工結構物必須和水接觸，而水是無孔不入的液体，它的溶解能力又很强。我們建築攔河壩後，上游水位抬高，產生压力，水就要透过壩体，或繞过壩的周圍及基礎，漏到下游去，这种現象，称为滲透。無論用何种材料築壩，無論是何种基礎，这种滲透總是有的，但是必須把它限制在一定範圍內，否則它会帶走壩体或基礎內的土壤顆粒，溶解並帶走壩体或基礎內的礦物成分，使滲透擴大，發生管湧現象，將壩体

或基礎淘空，形成大量漏水，甚至將壩体摧毀，造成嚴重事故。此外，水中有一些礦物質对結構物的材料起化学作用，会侵蝕以致破坏結構物。

（2）施工条件複雜

水工結構物一般都建築在河中，施工時必須先將河中的水流排走，所以要建造圍堰，在裏面進行修建。由於一年中天然流量变化很大，而圍堰又不可能做得很高，所以圍堰內易遭大水淹沒，若淹沒後施工就無法進行，因此在枯水季內要尽量將結構物基礎做好。水力樞紐的工程量往往是很大的，像土石方的開挖及混凝土數量是以十万或百万公方來計算，金屬材料是以數千噸來計算。为了要在短時期內完成施工任务，就需要廣泛地採用机械化設备和有極好的施工組織。

（3）施工前要有詳細的勘測和設計

水工結構物的型式、大小和建造方法，是与施工地區的地形、地質和水文条件緊密地联繫着的，这些条件，各地不同，所以每一个水工結構物，都应具有符合当地条件的特性。因此在修建以前，必須要有詳細的勘測和設計，並且要經过一定的設計階段。

勘測工作与設計工作是緊密地联系在一起的，每

一階段的設計工作都有其相適应的勘測工作。由面到點，由淺入深，这样才能使設計符合当地的地形地質的情况，使水工結構物造得又牢固又經济。

三、作用在水工結構物上的力和負荷

作用在水工結構物上有各种力和負荷，这些力和負荷就是我們分析計算的对象。水工結構設計是要分析它們在各种組合的情况下对結構物的穩定性如何，結構物內部的应力有多大，从而來校驗及規定結構物的大小和尺寸。

作用在水工結構物上的力和負荷，按照其性質，分为以下幾類：

（一）結構物和放在結構物上的設备本身重量的力是向下作用的，力的作用點是在物体的重心处。

（二）水压力。水压力与水头成正比，水愈深，結構物所受到的压力愈大，所以作用在結構物垂直面上的水压力像一个三角形，水压力的作用方向是与水接觸的結構物表面垂直的，它的作用點就在上面所說的三角形的重心处。

（三）土压力。在結構物的周圍有時要用土填起來，在攔河壩的前面，因为泥沙的沉積而漸漸地高起

來，这些土和泥沙对結構物起压力作用，它的大小、方向和作用點是比較複雜的。

（四）冰压力。在北方冬季要結冰，可以結到幾公寸甚至幾公尺厚。冰在融解時对結構物有推力，在大河中，冰的流動对結構物的撞擊力，有時是很大的。这些冰一般浮在水面上，所以力的作用點也在近水面处，它的方向是横向的。

（五）上托力。这也是水压力的一种，由於壩的上游的水要滲透到下游去，滲透过去的水有向上的水压力，叫做上托力。在岩性基礎上，上托力的大小是假定的，也可以做試驗來决定；在非岩性基礎上可用分析來决定。

（六）風压力。風的压力是比較小的，它僅作用於露在水面上的結構部分。

（七）地震力。我國有很多地方是有地震的，当發生地震時，会將結構物震倒，所以对有地震的地方在設計時应該將地震力考慮進去。

（八）反作用力。結構物建築在基礎上，基礎上就有一定的反作用力來支持它。

以上这些力有的是經常起作用的，有的是臨時發生的，有的不一定存在，在分析計算時，应看具体情

况，分別考慮。

四、水工結構的安全条件

（1）基礎的穩定

水工結構物修建後，基礎的沉陷是难免的，如果基礎是岩石，沉陷很小，不致影响安全，就常常不考慮它。如果基礎是土壤，可能会發生很大的沉陷，設計時就必須加以考慮，尤其当基礎的土壤性質不一致以及結構物各部分的重量不同時，基礎会發生不均匀的沉陷，这是更要注意的。苏联有一个水电站的廠房，建築在非岩性土壤上，由於預先考慮到有不均匀的沉陷發生，所以把水輪發电机的軸裝得微微傾斜，幾年以後，沉陷停止，而軸轉成直立，这是水工結構設計中一个杰出的例子。

（2）結構物的穩定

結構物的穩定包括不傾倒、不滑動和应力不超过結構物材料的允許应力三方面：

1. 不傾倒。結構物受水压力及其他力的作用，有向後傾倒的趨勢，好像我們被推時有向後倒的样子，所以結構物的基礎要做得相当寬，才不会發生这种現象。

2. 不滑動。結構物受水压力後，有向下游滑動的趨勢，要防止滑動，必須靠結構物和基礎間的摩擦力來維持。摩擦力的大小是和結構物及作用在結構物上的重量成正比，所以要使它所產生的摩擦力比水压力大，才能防止滑動。

3. 应力不超过允許应力。結構物当受外力作用後，內部就產生一定的应力來支持，这些应力可以用力学的方法來求出，应該使它比結構物材料的允許应力小才行，否則就要加大結構物的尺寸。

为保証結構物在使用時有足够的可靠性，当計算穩定性或应力時就必須有足够的安全係數。

第二章　攔河壩

一、攔河壩的用途

攔河壩是水力發电站各建築物中的主要組成部分，它在河川上築成水庫，存儲河水，供給發电、農田灌漑和城市給水之用，枯水時还可以給壩下游放水，使航运及浮运木材不致受到影响。

築壩可以防止洪水，減少下游洪水的災害；抬高水位，產生水头，就可以用來發电；加大壩的上游水的深度，減少險灘，也就利於航运。

由以上可見築壩是能解决很多与國民經济有關的問題，因此当設計時必須全盤考慮，以取得最大的利益。

二、攔河壩的主要類型

（1）土壩。土壩的材料是砂、砂壤土、壤粘土、粘土、卵石和礫石，这些材料的分佈是很廣泛的，在築壩的地方可以找到，可以就地取材，所以土壩是很普遍地被採用的一种壩型。

按照壩体横断面組成的材料來講，土壩可以分为五种：

1．單种土質壩。由一种成分性質相同的土料修築的壩(圖1)；

2．多种土質壩。由幾种不同的土料修築的壩，如由壤土和沙礫等按照一定的次序佈置在壩体內(圖2)；

3．具有不透水盖面的土壩。盖面是在壩的上游面一層透水性小的壤粘土或混凝土、鋼筋混凝土，前者叫做塑性盖面，後者叫做剛性盖面(圖3、4)；

4．具有不透水核心的壩。分塑性核心和剛性核心二种，前者用的材料是壤粘土，後者用的材料是混凝土或鋼筋混凝土牆(圖5、6)；

5．混合式土壩。由土壤和堆石組成，但主要的是土壤，只有下游部分才用石料(圖7)。

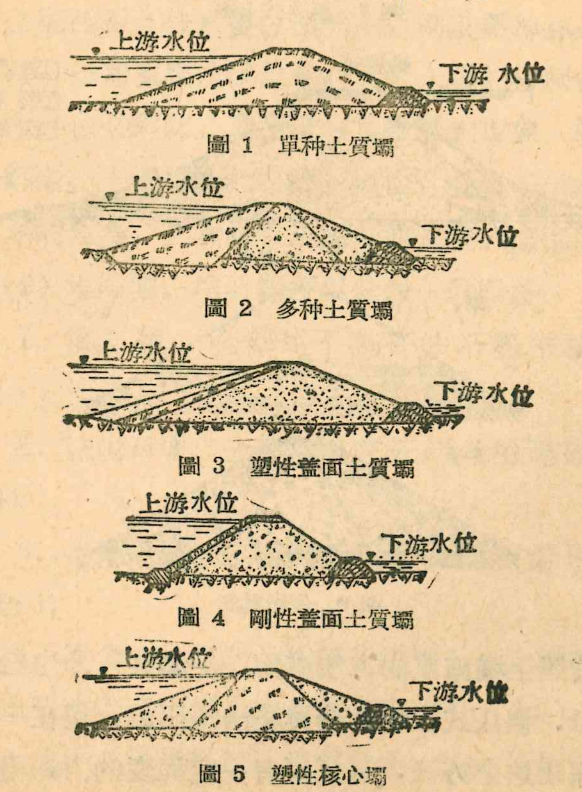


圖1 單种土質壩

圖2 多种土質壩

圖3 塑性盖面土質壩

圖4 剛性盖面土質壩

圖5 塑性核心壩

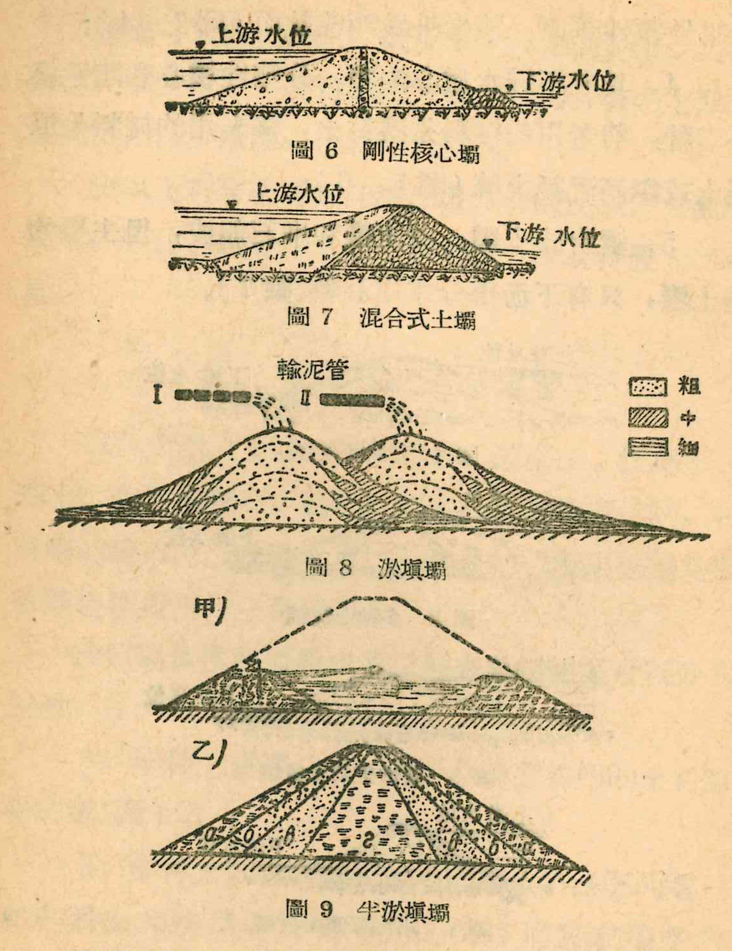


圖 6　剛性核心壩

圖 7　混合式土壩

圖 8　淤填壩

圖 9　半淤填壩

按照土壩施工的方法來講，土壩又可分为三种：

1．輾压式土壩。分層築滚压而成，現在一般土壩都採用这个方法，滚压要有一定程度的力，現多用羊脚滚，土壤也有一定程度的含水量，使土壤達到最大的比重；

2．淤填壩。利用水流冲刷土壤，將渾水引到壩址，使它淤積成壩(圖 8)；

3．半淤填壩。利用机械取土，运到積土場，加水拌和，導入壩址淤積成壩(圖 9)。

土壩是不允許水溢过頂的，否則就要冲坏，所以設計時，必須重視排洪設备，又因土壩的材料透水性比較大，也必須防止產生滲漏及管湧的現象。根据以往的經驗，土壩崩塌的原因，以排洪設备不够以致洪水漫頂的为多，其次是由於壩身或基礎的滲漏所致。

(2) 堆石壩。堆石壩可以分为下列四种：

1．塡石壩。全部用不整齐的石塊堆積而成(圖 10)；

2．乾砌石壩。全部用較整齐的石塊乾砌而成(圖 11)；

3．半堆石壩。上游用乾砌石牆而下游用塡石(圖 12)；

4．混合壩。壩的下游部分用堆石，上游部分斜牆用土料或蛮石混凝土或漿砌条石(圖 13、14)。

上述 1、2、3 三种堆石壩都是透水的，所以要有防

滲設备，如斜牆心牆之類，这些斜牆心牆一般都与基礎不透水層連在一起。堆石壩所用的石料，应为堅硬的岩石，比重較大，能抵抗風雨，在水中不会軟化，能抵抗冰凍，石塊的大小也要有一定的尺寸，使堆積起來後孔隙很小，不会發生大的沉陷。堆石壩的石料应該用爆炸法所採得的不規則石塊，圓石及含有碎石屑的石料不宜应用，因为它旣降低壩的穩定性，又加大壩的沉陷。

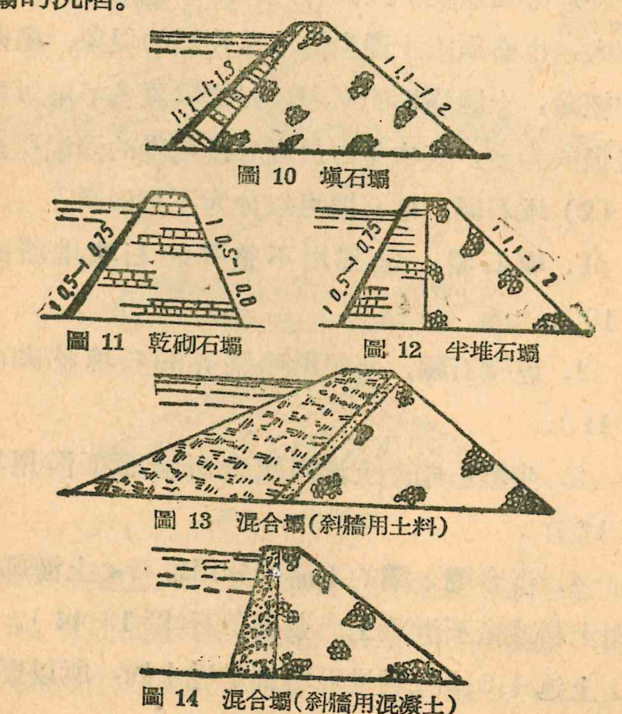


圖 10 塡石壩

圖 11 乾砌石壩

圖 12 半堆石壩

圖 13 混合壩(斜牆用土料)

圖 14 混合壩(斜牆用混凝土)

(3) 空心重力壩。是由撐牆、平板及其他形式的蓋面所組成，蓋面支承在这些撐牆上，把水压力傳到撐牆再傳到基礎上。空心重力壩可分下列三种型式，一般都是用混凝土或鋼筋混凝土造成。

1. 重力撐牆壩。这种壩和实心重力壩不同之处，就是在壩体內每隔一段挖去一塊三角形的混凝土，以減少工程量，挖去後的壩体仍要靠它本身的重量來維持穩定，这种壩的混凝土量比实心重力壩可以少到 30 %，但修築時要複雜些，需要消耗很多的模板。

2. 平面撐牆壩(圖 15)。为使撐牆壩的結構輕便，將撐牆的間距加大，並將上游面的擋水平板加鋼筋，它就能承受很大的水压力，並把水压力傳到撐牆上再傳到基礎。这种壩因本身重量輕，为防止滑動，維持穩定起見，上游面做成斜面，利用作用在斜面上的水压力來增加重量，擋水平板支承在二端撐牆上，起着梁的作用，所以鋼筋消耗較多。

3. 連拱壩。在平面撐牆壩中，撐牆間距愈大，鋼筋混凝土板要愈厚，耗費的鋼筋要愈多，这样就不經济，在这种情形下改用拱板是有利的，因为拱板藉拱的作用，在拱內發生的拉力比平板要小得多，所以

可以做得薄些，鋼筋可以少用。这种由幾个撑牆和拱板組成的壩，叫做連拱壩。为維持壩的穩定起見，上游面也做成斜面，我國淮河佛子嶺壩就是这种壩型（圖 16）。

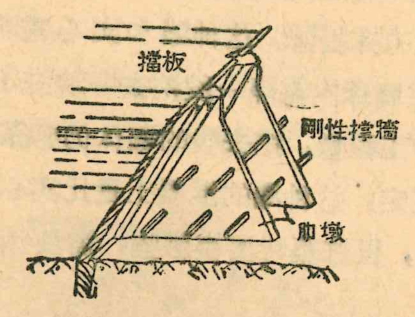


圖 15 平面撑牆壩

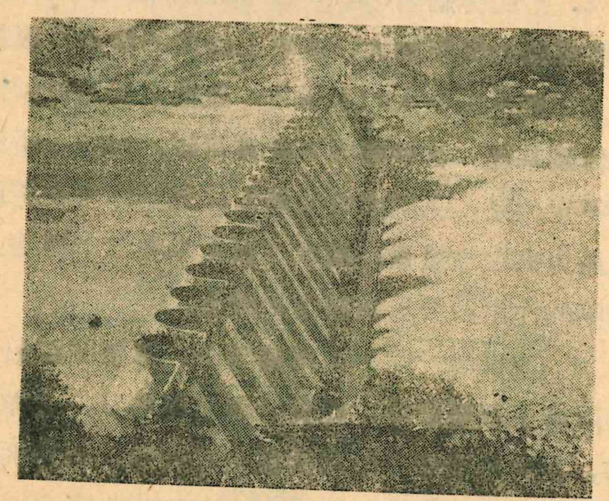


圖 16 連拱壩

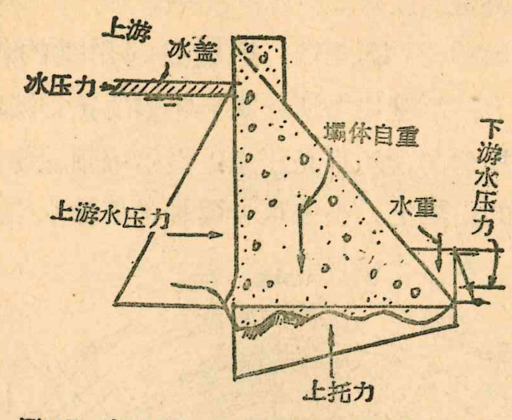


圖 17 实心重力壩（並表示幾个作用上去的力）

（4）实心重力壩。土壩和堆石壩也是实心重力壩，不过这兩种壩因为基礎很寬，穩定問題比較容易解決，但防止滲漏的問題就嚴重複雜得多，所以列在另一類型來談。这裏所指的是混凝土或圬工的实心重力壩，它的断面比較小，基礎窄，由於壩体的材料比重大，所以可以維持穩定。混凝土重力壩可以修得很高，最高的有 200 公尺，为抵擋水的压力，它的断面隨着水的深度逐漸加大，成为一个三角形，壩頂为便於交通运輸起見，需要有一定的寬度（圖 17）。

实心重力壩除用混凝土材料外，还可以用石料漿砌而成，这在交通不便，水泥材料來源困难，但石料却很丰富的地區可以採用，不过修建这种壩是不可能

完全利用机械的。

（5）拱壩（圖 18、19）。拱壩是利用拱的作用來抵抗水压力，故適用於河谷成V字形的狹谷壩址。拱的作用是拱体內受的都是压力，沿着壩軸線傳佈水压力到兩岸的山坡上，不像重力壩那样傳佈水压力到底

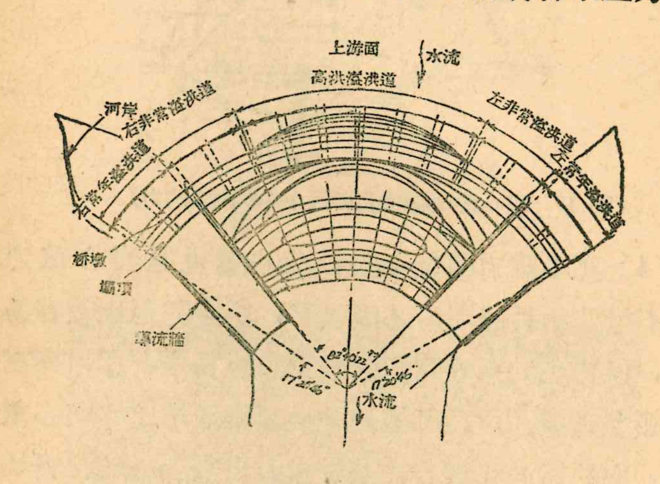


圖 18　拱壩平面

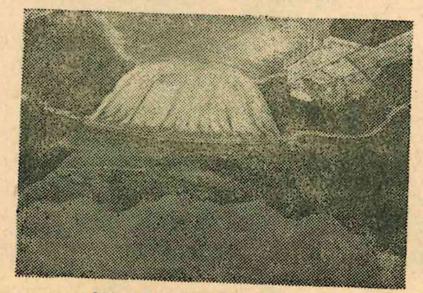


圖 19　拱壩（下游立視）

部的基礎上，因此拱壩的兩岸山坡上必須有堅硬的岩石，足以承受拱端的推力。这种壩的横断面比重力壩要小得多，可以使用抗拉强度較弱的材料。

三、壩型的选擇

在水利工程中，壩的建築費用常是很大的，因此一定要愼重考慮选擇壩型的問題。要选擇一种適合某种地形地質和有具体要求的壩是很不容易的，这就必須經过研究比較，在考慮時有兩个原則是必須掌握的，就是既要安全，又要經济。現將上述各种壩型適宜的場合略述如下：

（1）土壩。如果能够就地取材，在各种壩型中以土壩最便宜，但是建造土壩需要有合適的排水道來排洩洪水，以保護壩身的安全，如果河道的洪水很大，建築排水設备很貴，这种壩就不合適。

土壩的材料透水性是比較大的，若要土壩不透水並且維持穩定，使边坡不会塌下來，那麼壩身就要做得很寬，边坡就要做得很平。土壩內所用的材料，要看壩址附近有什麼材料而定，如果有足够的同样性質的土壤，就可採用單种土質壩，这样不僅施工簡單，而且也比較經济；如果在壩址附近沒有同样性質的土

壞，就要採用幾种土壤合起來的壩，这样在施工及配製時，是要複雜得多的。

（2）堆石壩。在交通不便而產石丰富的區域，如果沒有合適的土壤來築壩，而混凝土的價格又很貴時，就可以採用堆石壩。

（3）空心重力壩。空心重力壩中以連拱壩被採用得較多，这類壩的基礎單位面積的压力較小，所以可以建築在較弱的岩石基礎上。連拱壩的基礎不允許有不均匀的沉陷，所以沿壩体的地質基礎要均匀一致。

建築空心壩需要質量較好的混凝土，在天气很冷的地帶，混凝土因受冰凍，强度降低，就不宜採用这种壩。

（4）实心重力壩。这种壩是依靠本身重量來維持穩定的，在各种壩型中，这种壩最經久耐用，养護費用也最少，在各种基礎上都可以造重力壩。如建築在非岩性土壤上，它的基礎必須加大，以減少單位压力，同時为防止滲漏，上下游要做很長的混凝土底板和阻水牆，这是不經济的。实心重力壩所用的混凝土强度可以比較低，每一公方混凝土中的水泥用量較少，模板簡單，施工不像空心重力壩那样複雜，在交通便利，沙石材料丰富，水泥取給不困难的情况下，造这种壩最方便；洪水大的河流，为便於排洩起見，也要採用这种壩型。

（5）拱壩。这類壩受到地質地形的限制很大，壩址必須狹窄，兩岸山坡的岩石要整体、堅硬而不变形，而且要能抵抗水的侵蝕和不透水，最能滿足这些要求的是火成岩，水成岩中要很坚固的才行，因此地質条件的要求比其他壩型都高。

拱壩的体積比重力壩小，在同一壩址造拱壩比造重力壩体積可以減少1.5~3倍。

四、溢流壩和壩頂閘門

对於所有的水力樞紐，为了排洩壩前的洪水，使水庫中多餘的水排洩到下游，必須要有洩洪的設备。一般所採用的洩洪設备有三种型式：即溢流壩、河岸溢洪道和洩洪隧洞（圖20），後二种型式是適用在堤壩上不能溢流的情况下，在重力式混凝土壩中都是採用溢流壩來洩洪的。溢流壩是將壩頂部分加以改变成如圖21所示，它的排水能力和溢水寬度、壩頂上水的深度以及頂部曲線的形狀有一定的關係。

溢流壩的設計原理与实心重力壩相同，它的壩面做成流線形式，以利排水，壩下設有消能設备，使洪

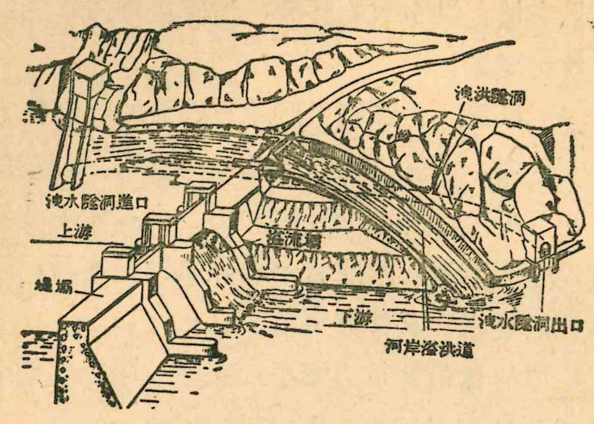


圖 20　三种洩洪型式

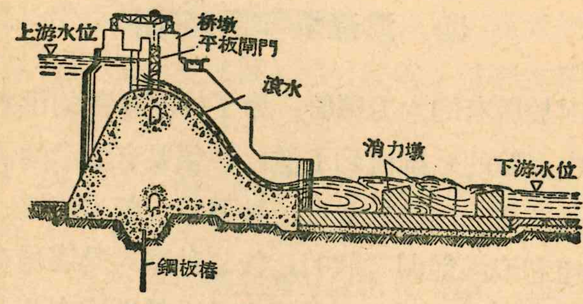


圖 21　在非岩性基礎上的溢流壩

水不致冲毁壩下基礎，兩边有導水牆，使溢出水流的情況良好。为了調節排出洪水，壩頂还設有閘門，用門墩分開，閘門數目一般採用單數，即三、五、七、九等，跨度大的有 20 公尺，門墩上設有桥面板，上面有啓門設备。

閘門的形式很多，常用的有下列三种：

（一）弧形閘門。閘門的形式如圖 22 所示，它成弧形，用鋼料製成，小的也有用木製的，前面有一塊圓弧形的擋水板靠在一系列的鋼構架上，二端有脚架，架的頂端为一鉸鏈，与埋在桥墩中的滾軸相連結，閘門上升時即繞着此滾軸轉動。这种閘門不需要門槽，啓門重量比同样大小的平板閘門小，但它本身的重量和造價要比平板閘門为大。

（二）平板式閘門。这种閘門沿門墩上的凹槽下降，直立在溢流壩的頂端，閘門把所受到的水压力傳到二端門墩上，为減少閘門与門墩間的摩擦力，即減輕啓門重量，閘門二端裝有滾輪，門槽內則裝有軌道，啓門机裝在桥上，用电動絞盤提升閘門。

（三）扇形閘門（圖23），其形狀像由大直徑圓柱分割出的扇形体，閘門的尖端安裝在壩頂的滾軸上，由与弧形閘門相似的曲線形圓弧面來承受水压力。扇形閘門的結構物能下降到壩体內的凹洞中，使壩頂形成一滾水的圓弧，以便於放洩洪水，这种閘門的啓閉，可以不用啓閉机，而靠水力裝置來控制它的位置。

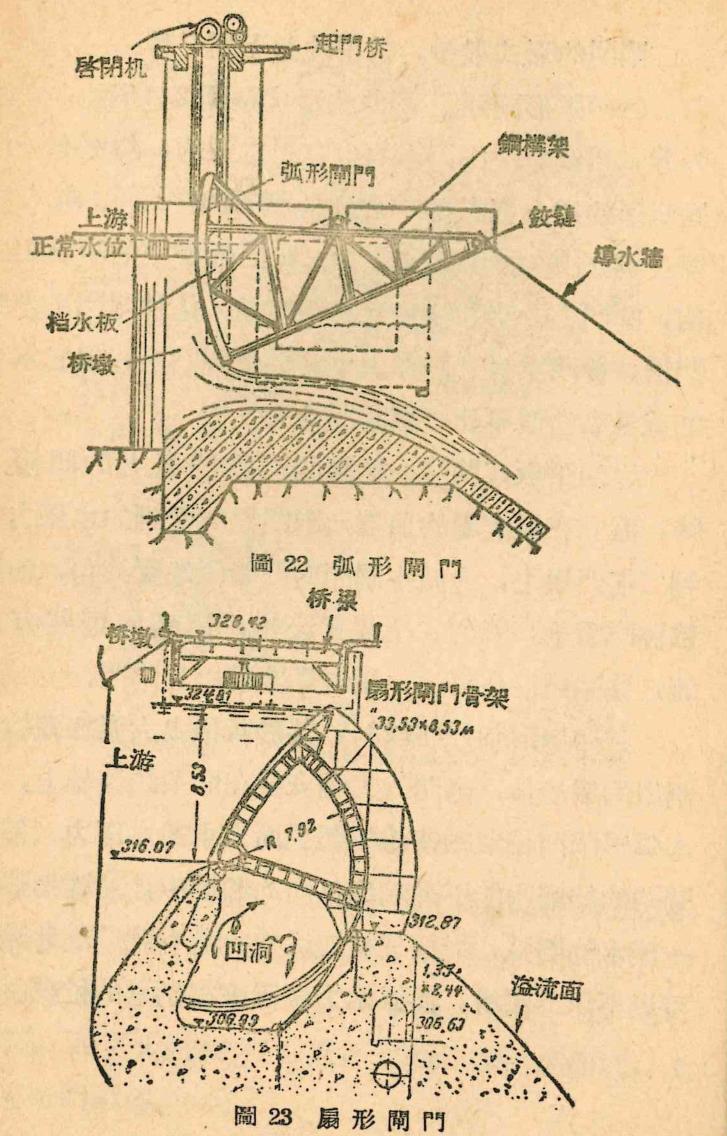


圖 22 弧形閘門

圖 23 扇形閘門

第三章 引水工程

一、水电站型式和引水工程的布置

水力發电站的型式有四种：即河床式、堤壩式、水路式和混合式。河床式水电站为低水头的水电站，它的進水閘与廠房連接在一起，中間沒有顯著的輸水管，水流自河川進入進水口以後，幾乎就立刻到達水輪机，所以这种型式的水电站的引水工程最簡單，它只有一个進水閘。

堤壩式水电站(圖24)的引水工程也是很簡單的，除了進水閘以外，还有从進水口到廠房去的一段压力水管或压力隧洞，它們一般也是不長的。

以上兩种型式的水电站水头的構成，完全是由堤壩提高水位所形成的。

水路式水电站(圖 25、26)的水头全部由引水工程來集中，它的堤壩往往很低，蓄水容量很小，壩前水位变化不大，它的作用僅僅作为攔截河川中的水進入到進水口去，所以这种堤壩一般称为截水堰。这种引

水工程的範圍是很長的，从截水堰处的進水閘起到廠房前的压力水管为止都包括在內，長的有達數公里甚至數十公里。引水工程的布置，視地形条件而定，引水方法一般採用明渠或無压隧洞，当渠道穿过低地時，要做渡槽、倒虹吸之類，亦可利用低地做一个小水庫，以增加調節流量；渠道末端有压力前池，建造一个压進水閘，再接压力水管引水到廠房去。

混合式水电站（圖 27）它的水头一部分由堤壩形成，一部分由引水工程來集中，引水工程的範圍自水庫的進水閘起到廠房前的压力水管为止，所以也有長

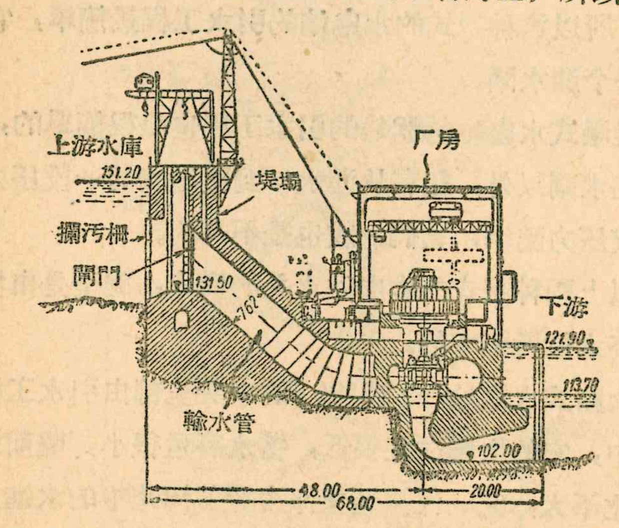


圖 24　堤壩式水电站布置縱剖面

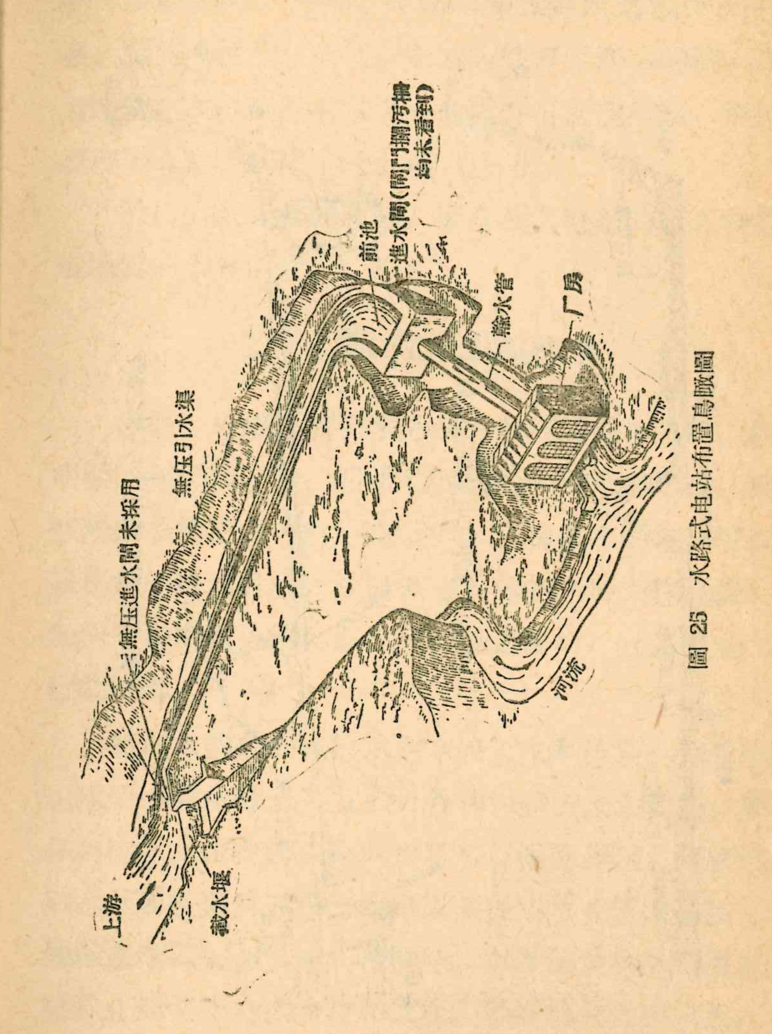


圖 25　水路式电站布置鳥瞰圖

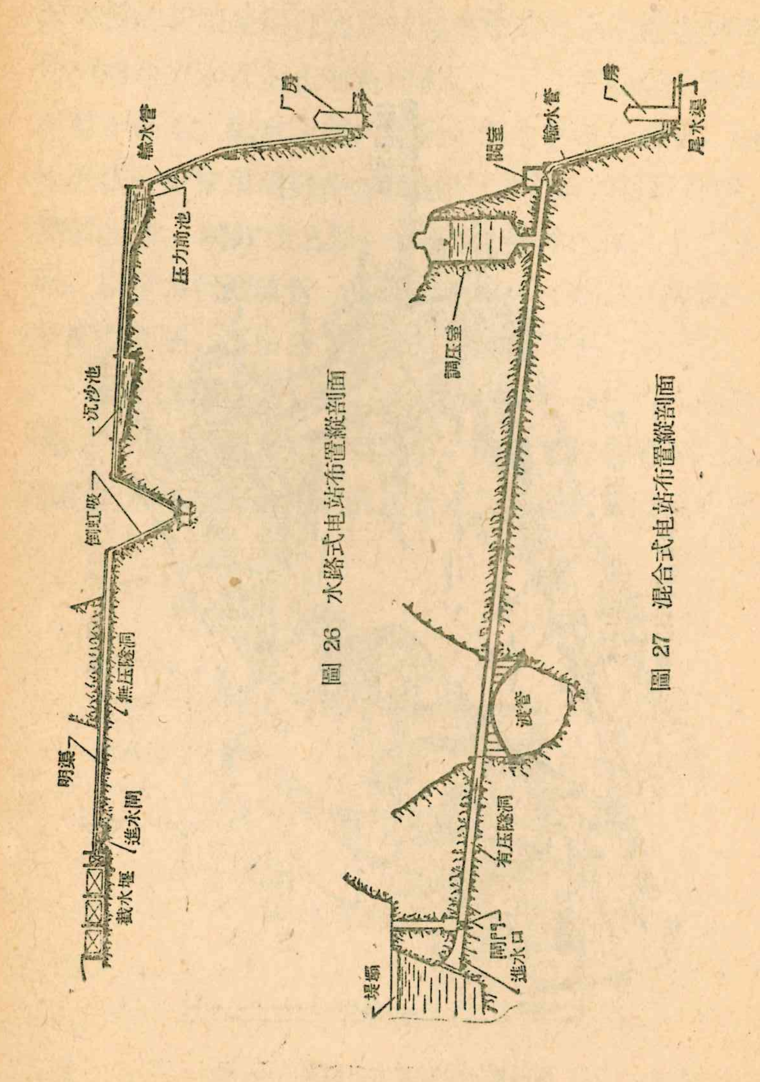


圖 26 水路式电站布置縱剖面

圖 27 混合式电站布置縱剖面

達十多公里的。这類水电站的堤壩要比其他的高得多，壩前水位变化很大，引水方法要用压力隧洞、压力水管，在隧洞的末端有一个直井叫做調压室，經过調压室後就接压力水管引水到廠房。

所以引水工程的布置，完全看水电站的型式和地形地質的条件而定。

二、引水的方法和要求

由以上可以看到引水方法一般可以分为三類：即明渠、隧洞和管道。渡槽是明渠的一种特殊形式，倒虹吸則是管道的一种特殊形式。三种引水的方法可以是單独的或混合的，这是要看具体的地形条件而定。任何一种引水方法，進水閘都是需要的，它是引水工程的首部。

在引水的过程中要求引水要安全和經济，为了使引水時不發生障碍，就要有各种保障安全的設备，使任何時候，由上游引來的水都可以暢通無阻，也要使引水渠道或廠房在檢修時可以攔住來水並將水排去。像進水閘前的攔污栅、冲沙閘、沉沙池及排冰道就是要阻止河川中的漂流物如冰塊、砂石等進入引水渠，以免影响安全；進水閘裝有閘門，引水渠上設有放水

閘、溢洪道、閘閥等，这些是为保障渠道的安全以及便於檢修用的。

为了要使引水經济，必須詳細地研究引水的方法、路線和結構物的大小及尺寸，这是一件複雜而細致的工作，要做一些經济比較。引水的流速不能太大，否則水头損失过多，在土渠中还要引起冲刷；但也不能太小，流速太小則引水渠道的尺寸就要大，造價貴，並且太小的流速会使渠道內長水草，泥沙也会沿渠道沉積起來，減少过水的断面，引起水头損失的增加。經济的引水渠道要使它的修建費、水头損失及引水量的損失減少到最低的程度。

三、進水閘

（1）概況。進水閘为引水工程的首部，在各類水电站中都是具备的。除水路式截水堰前的進水閘是引水到明渠或無压隧洞，所以称做無压進水閘外，其餘均为有压或深水的進水閘(圖 28、29、30)。

進水閘由攔污柵、閘門、擋水板及啓閉閘門的設备組成，攔污柵是防止河中漂流物的侵入，以保護水輪机。閘門是控制進水流量以及当压力水管破裂或廠房修理時關閉之用，有啓閉設备進行啓閉。擋水板設

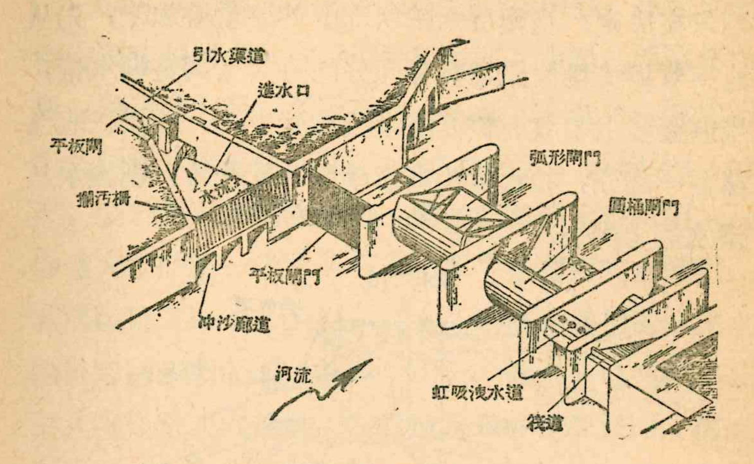


圖 28　無压進水閘及截水堰(表示各种閘門設备)

在閘門之前，当進行閘門修理時作臨時擋水用。進水閘本身一般由鋼筋混凝土或圬工造成，它必須在各种作用力下能穩定和安全。为減少水头損失，進水流速不能太大，進水口做成喇叭形，使水流順当，在有压進水閘的閘門後必須有通气管，以防止压力水管內的眞空發生。在冬季多冰凌的渠道，还要有排冰道的設备，对於含沙量大的渠道，在進水閘前要設置冲沙閘，冲沙閘还可以放空渠道中的水以便修理之用。

（2）压力前池。在水路式水电站中有这一部分，它是引水渠道的末端擴大部分。在这裏具有有压進水閘、溢水道等設施，池的大小一般由廠房机器运轉的

要求來决定。当廠房水輪机需要的流量增加時，先从池內取得流量使渠道具备充分的時間來調整供水量，当电廠發生事故而需要流量突然減少時，可以在池內儲蓄一部分，如水位抬高影响閘身安全時，則讓水从溢水道上排去。

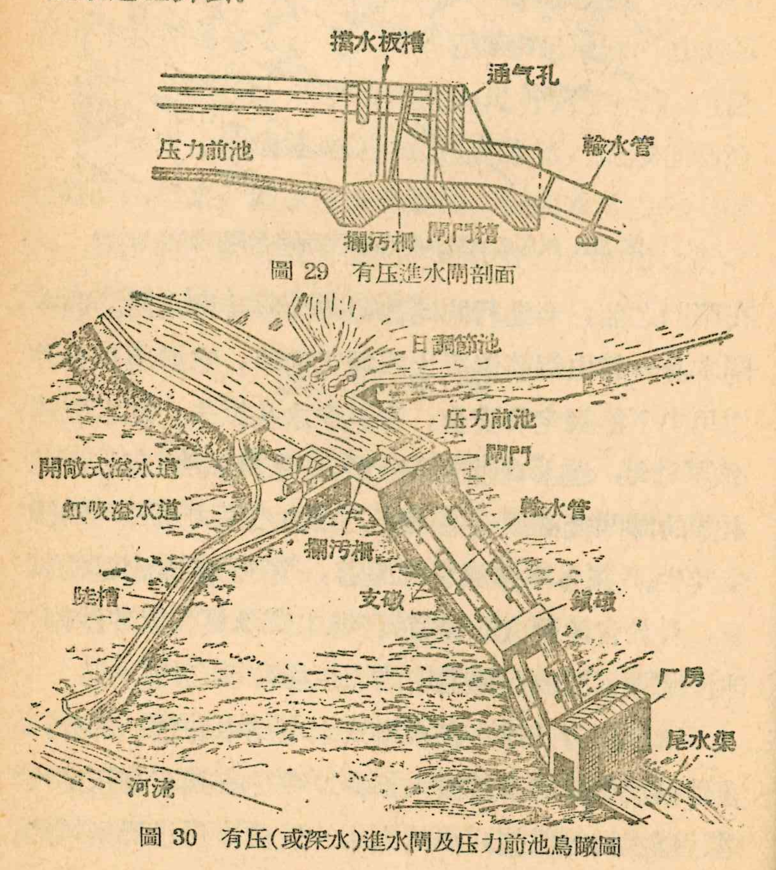


圖 29　有压進水閘剖面

圖 30　有压(或深水)進水閘及压力前池鳥瞰圖

(3) 攔污栅。天然河道內漂流物很多，在進水閘前必須裝攔污栅，以免漂流物進入水輪机而損坏机器。攔污栅大都用鋼条編成，在較大的進水口所用的攔污栅常分成區格，寬約1～1.5公尺，高約2～3公尺，便於移動和清除雜物，栅条間距視水輪机型式及容量大小而定：中水头的电站採用法蘭西式水輪机，其間距自30～100公厘，高水头的电站採用衝擊式水輪机時，其間距僅40～60公厘，低水头电站採用轉槳式或旋槳式水輪机，其間距为60～150公厘。河流中的漂流物多，攔污栅要放得斜一點，与鉛垂線的夾角約为15°～30°，但有時要視漂流物多少而定。当進水口在水下很深時，攔污栅往往採取垂直的位置，以節省建築費用。攔污栅如有漂流物壅塞，就須用爬梳清除，否則進水面積減少，会引起大的水头損失。用爬梳來清除污物可以用人工，也可以用机械，这要視电站的大小和漂流物的多少而定。在天气很冷的區域，攔污栅还有加熱設备，以防止冰塊凝結在栅条上而妨碍進水。

(4) 閘門。進水閘的門是在進水口前，一般採用平板式，可將整个進水口封住，不使水流進入，以便於渠道压力水管或廠房的修理。大的水深的閘門用鋼

材造成，門的兩端裝有滾輪，以減少啓閉設备的重量；小的水淺的閘門可以用木材製造，門的兩端也不用裝上輪子。閘頂設有啓閉机，閘門和啓閉机要時常檢查，以防止發生故障。

四、明 渠

明渠是水路式电站引水方法之一，从截水堰起到压力前池为止，如地形地質条件許可，採用这种引水方法要比其他方法經济。

（1）定線。明渠应尽可能选擇最短的路線，但是如所經的地形需要有很大的開挖或塡方，或者要穿过高山低谷而必須要用其他方式（隧洞渡槽）引水時，就要与繞山的明渠進行經济比較，选擇出造價小而电能損失亦小的路線來。在定線時，地質情况是一个重要的因素：在山坡上築明渠要注意山坡的穩定性，如穿过岩石區，就要看岩層的傾向傾角，看明渠築成後是否有向外崩塌、滑動的可能。有些土壤的透水性大，有些岩石的節理發育，裂縫多，渠道路線經过時必須有襯砌來防止漏水。地下水的性質及水位的高低，对明渠襯砌的材料以及滲漏有多少影响，在定線時亦要注意。

（2）明渠的横断面（圖 31）。明渠的横断面一般都是梯形的，它的兩边与水平線夾角称为边坡，坡度決定於土壤的性質。好的岩石断面可以做成矩形，即二边坡做成垂直，鬆土的边坡達到1:2～1:3，一般的土壤及岩石介乎二者之間，在水中部分边坡应比水上的要平些。

明渠中的流速不能太大也不能太小，要視土壤的性質而定，土渠普通在 0.5～1.5 公尺/秒之間，如果有混凝土襯砌的土渠或岩石內的渠道，流速可以高到 4 公尺/秒，以便減少渠道横断面。

横断面尺寸由通过的流量（Q）及允許的流速（V）來決定，通过流量所需的断面積称为过水面積（A），就是說$A=\frac{Q}{V}$。一定的过水面積可以由許多种尺寸來構成，以水力学的观點來看最好的断面尺寸是使水力半徑 R 等於水深的一半，水力半徑是过水面積 A 和过

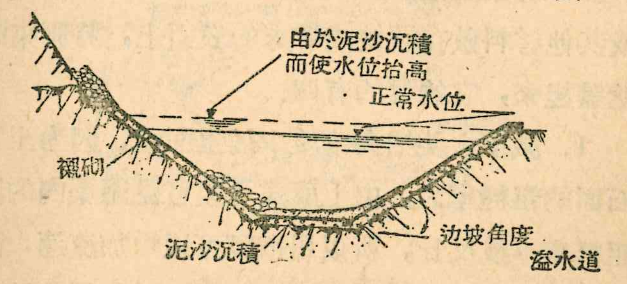


圖 31　明渠的横断面

水濕周 P 的比值，但实际上这种断面不一定經济，需要加以修改。渠底的寬度要由施工方法來決定，由人工開挖的可以窄些，用挖土机開挖就要寬得多了。

明渠水力計算的公式很多，常用的为 $V=\frac{1}{n}R^{2/3}S^{1/2}$，式中 n 是渠道的粗糙率，S 是渠底的坡度，其他的符号上面已經說了，各种渠道的粗糙率如下表：

渠 道 种 類	粗糙率 n
土質，渠身平直而均勻	0.0225
岩石，渠身尙光滑均勻	0.0330
岩石，渠身不光滑不平整	0.0400
礫石渠底边坡生雜草	0.0350
土質渠底塊石边坡	0.0300
混凝土護面	0.0150

（3）明渠的襯砌。襯砌就是將过水面積內用混凝土或其他材料敷在開挖或填方的表面上，將原來的表面遮盖起來，它的目的有四：

1．減少水头損失或減少过水面積，因为土壤及岩石面的粗糙率大，由上面式子裏可見明渠內的流速和粗糙率 n 成反比，所以用襯砌可以增加流速，減少过水面積，或者用同样过水面積可以減少渠底坡度，

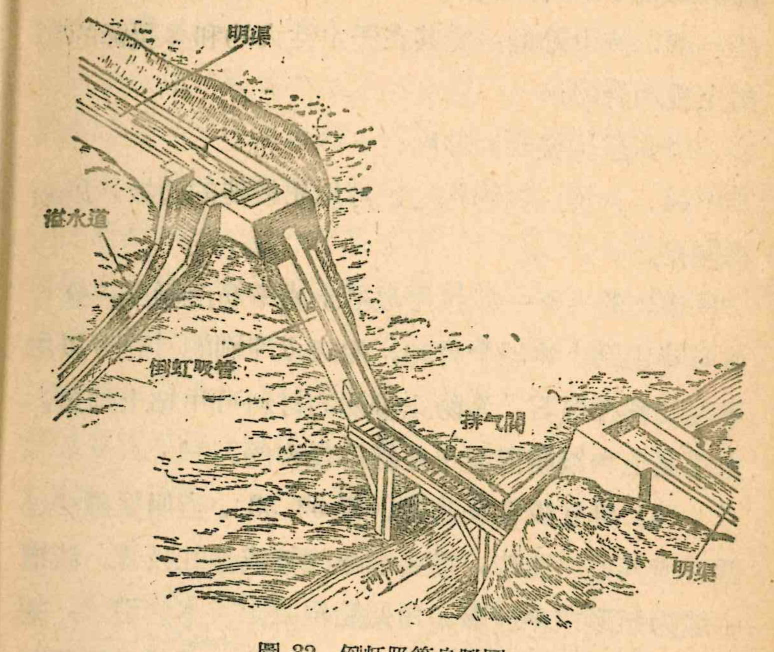


圖 32 倒虹吸管鳥瞰圖

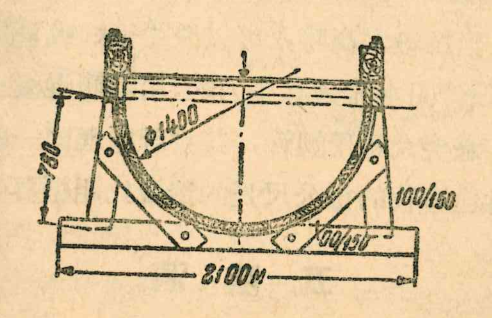


圖 33 木質渡槽

即可以減少水头損失;

2. 減少滲漏，尤其在透水性大的和多裂縫的渠道上更加合適;

3. 減少渠身的冲刷;

4. 加强边坡的穩定，可以用較陡的边坡，以減少開挖。

襯砌的材料一般採用混凝土或鋼筋混凝土，这可以同時達到上述四个目的。为防止冲刷的材料可以用漿砌或乾砌塊石，为防止滲漏的材料可用粘土舖盖，比混凝土和鋼筋混凝土是經济得多的。

(4) 倒虹吸管及渡槽，(圖 32、33)。当明渠須穿过低谷或其他河流時，需要建築渡槽或倒虹吸管。渡槽一般为矩形或半圓形，用鋼筋混凝土或木材造成，架在桥墩上过河，渡槽內水流沒有压力，其設計原理和明渠同，当桥墩太高時，可以採用倒虹吸管比較經济些。倒虹吸管內水流是有压力的，用鋼筋混凝土管或木管製成，水头大時用鋼管，其設計原理同一般水管一样，这种建築物的每公尺長的造價比明渠要貴得多。

五、隧 洞

隧洞分为有压和無压隧洞兩种：前者用於混合式

水电站，有時水路式水电站亦採用，在整个隧洞横断面內充滿水流，受到水的外压力；後者用在水路式的水电站，在这裏是不充滿水流的。凡引水渠道要穿过高山時必須採用这种引水方法，有時明渠傍着很陡的山坡走，開挖量很大，也須採用隧洞的形式。無压隧洞的断面形狀一般採用馬蹄形(圖34)，也有用圓形及其他形狀的，它的設計原理和明渠一样。由於隧洞的開挖比明渠要貴得多，所以流速要用得大些，可以減少断面，为了減少水头損失，隧洞的过水断面內用水泥噴漿或混凝土襯砌，如岩石不好的區域，頂部也要用混凝土襯砌，有時还要灌漿。

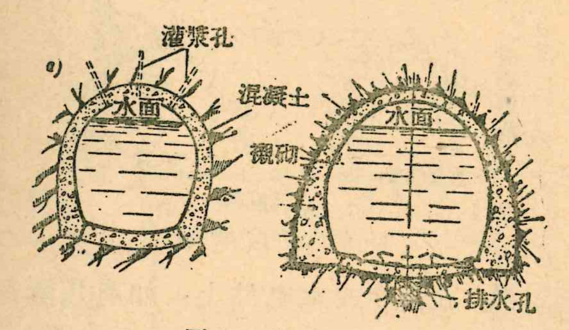


圖 34 無压隧洞

有压隧洞的断面都用圓形(圖35)，它的襯砌要視水压力的大小及岩石的性質而定，一般如水头小於5公尺的隧洞，如果岩石好，只要在洞內噴一層1:4～1:2

的水泥砂漿，就可減少水头損失，如岩石不好就要用0.2～0.3公尺厚的混凝土襯砌，以承受山岩的外压力。水头在10～20公尺間時，襯砌与岩石接觸面必須緊密，常用低压灌漿來達到这个要求。水头超过20公尺時多布置鋼筋，在設計時岩石的外压力由混凝土襯砌來承受，水的內压力則由鋼筋來承受。

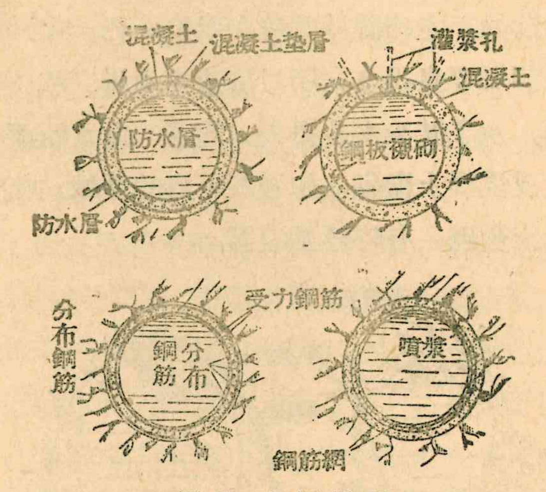


圖 35 有压隧洞

調压室。在混合式水电站上，如有压隧洞或压力水管很長時，在近廠房处需要利用地形開挖成一直井，或建造起一个水塔，井頂或塔頂比水庫內最高水位要高些，这直井和水塔叫做調压室，它的功用是当电廠內水輪机用水量变化時（即負荷变化時），調整流

圖 37 調压室（水塔）

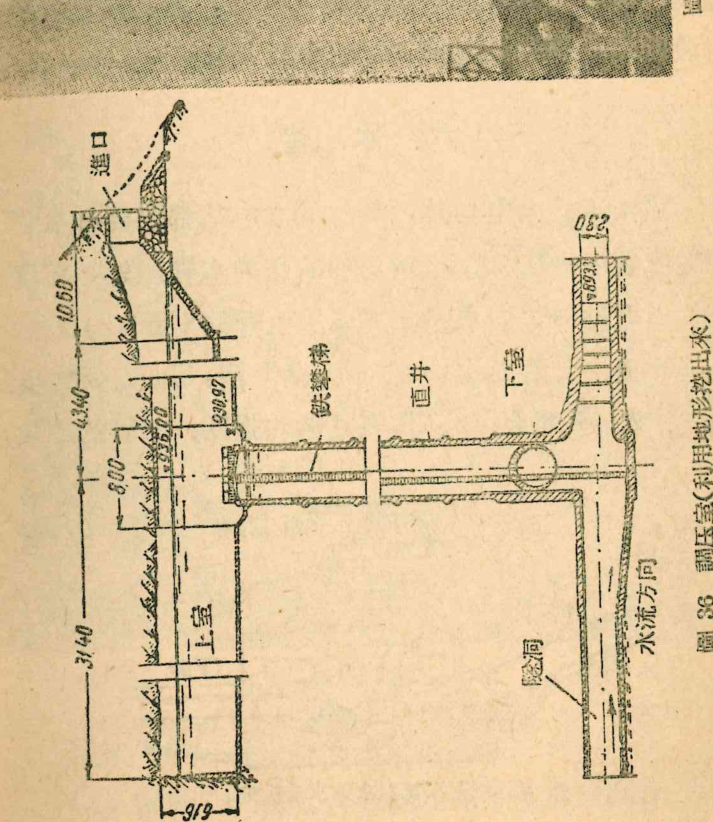


圖 36 調压室（利用地形挖出來）

量及压力用的。因为隧洞或水管長，当負荷变化時，要調整流量以符合新的情况，隧洞或水管內会產生很大的压力升高（負荷減少時）或压力降低（負荷增加時），这样不僅使电廠运轉發生很大的困难，並且使隧洞及水管的建築也很貴。为了要使压力的升高与降低得不过分，而保持电廠的正常运轉，就必須要有这种設备，它的形式如圖 36 及圖 37 所示。

六、水　管

除河床式水电站外，其他的水电站都需要有水管來完成發电的任务，除廠房前的压力水管以外，在混合式水电站中，引水路上亦有用水管的（圖 38）。

对於水管的要求是：1、管壁平滑，以減少水头損失；2、不漏水；3、具备足够的强度。水管的主要

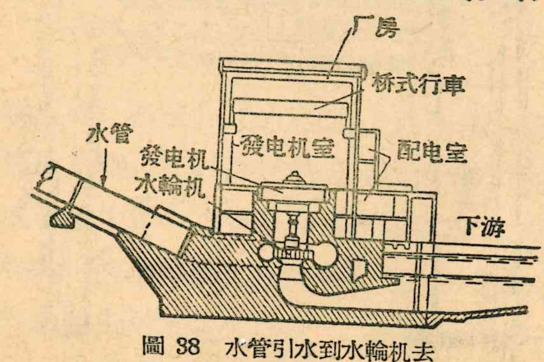


圖 38　水管引水到水輪机去

材料为鋼鉄、鋼筋混凝土和木材，鋼管能承受高的內压力，可以用在中高水头的电站，鋼筋混凝土管用在水头为 30～50 公尺以下時，当水头不大而水管很長時，用这种材料特別有利。水管可以承受的水头，要視直徑的大小而定，5 公尺直徑的水管，可以承受水头 40 公尺以下的压力，当直徑較小時，可以承受水头为 60～80 公尺，当直徑更小時还可以再提高。

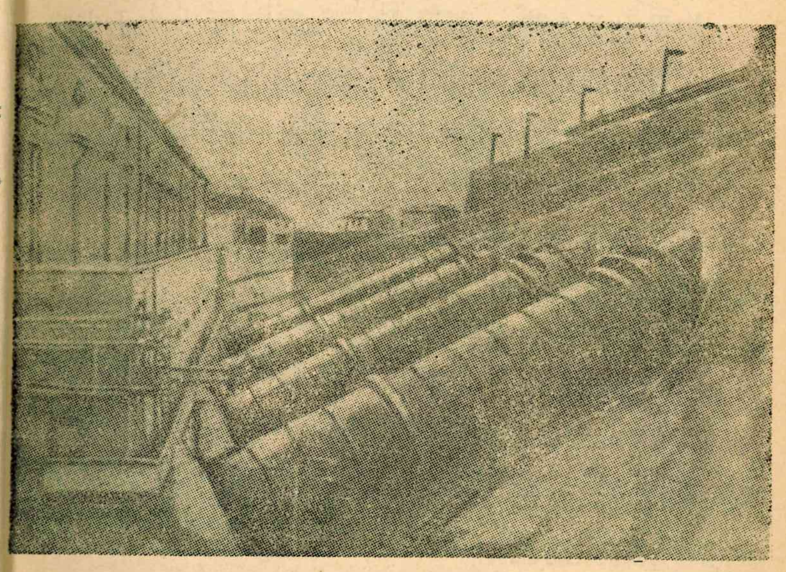


圖 39　鋼管，管徑 5 公尺

現按不同材料做成的水管分述如下：

（1）鋼管（圖 39）。凡管壁厚度 S 与水管直徑 d 的

比值 $\frac{S}{d}<\frac{1}{20}$ 時，称为薄管，对於这類水管，在水头小時，管壁的厚度需由安裝条件决定，因为直徑大管壁很薄，安裝起來就很困难，而且又容易变形，一般管經 d 与管壁厚 S 应保持下列關係：

$d<0.8$ 公尺	$S=5$ 公厘
$0.8<d<3.0$ 公尺	$S=6$ 公厘
$d>3.0$ 公尺	$S=7$ 公厘

如果水头大時，則管壁厚 S 需由压力大小來决定，水管受压如圖40所示，在一公尺長度內，總压力 $P=pd$，p 为單位面積上的水压力，即作用水头，則鋼管厚度为 $S=\frac{50pd}{\sigma\eta}=\frac{50\gamma Hd}{\sigma\eta}$。式中 σ、H、P、d、S 等符号意义如圖40所示，σ 为鋼管鋼鈑的允許拉力，以噸/公尺^{2}計，η 是鋼管鋼鈑銲接或鉚接的係數，一般均小於1，H 为作用水头，γ 为水的比重，由这公式計算所得的厚度，要增加1～2公厘，以防止銹蝕。

圖 40　水管受水压力情形

(2) 鋼筋混凝土管。当水头小時，用鋼管就会浪費，因为鋼管最小厚度是5公厘，在水头小時就不能充分利用材料的强度，在这种情况下可採用鋼筋混凝土管（圖41），它可以就地澆製，亦可在工廠裏預先分節製成，用時才連接起來，後者只在直徑小時应用。在工地澆製時，先在基礎上挖出坑道，作为水管的下部，用混凝土作好連續的管座，然後用它作为下半部的模殼，管內应配置螺旋形的鋼筋和縱向鋼筋，管子須分段澆築，每段長約10公尺，二段間留下空隙，等各段凝固後再將空隙澆滿。

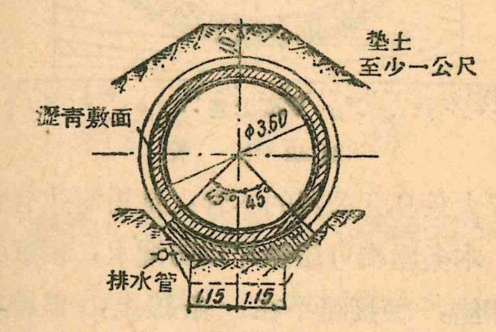


圖 41　鋼筋混凝土管

鋼筋混凝土管多用泥土復盖，以減少温度变化所產生的影响，管子接头处要採取特別措施，施工時混凝土的拌和必須均匀，澆搗必須密实，使透水性減小。水管內壁需要噴漿，以增加不透水性和光滑。

(3) 木管（圖42）。小型木管用木条併扎，外用鋼絲圍繞而成，在工廠用机器製成，每段長4～5公尺，最大直徑可達60公分，运至工地安裝，接头可用套管。

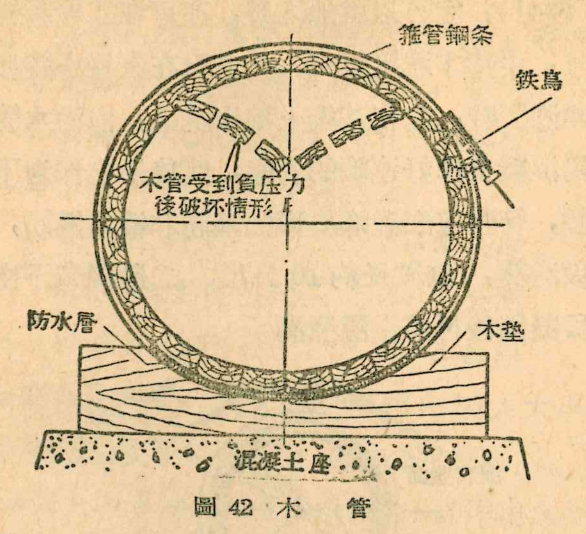


圖 42 木 管

管徑大於 0.6 公尺的木管，是用兩边有企口的木条拼扎，木条兩端可鑲鉄片以防漏水，相鄰的木条必須犬牙相錯，使接縫不在一条線上，以增加水管强度。箍管用的鋼条具有鉄鳥和螺絲，以备箍緊。木管大的直徑可達 9 公尺，木条的厚度不小於 4 公分，再薄便不能耐久，根据以往的經驗，木条的厚度可用下列公式來確定：

$$S=2.5+0.1H+d$$

式中 S 为木条厚度，以公分計，d 为管子直徑，以公尺計，H 为水头，以公尺計。

木管的造價一般較为便宜，安裝亦快，如交通不

便，鋼鈑缺乏，电站附近的木材都很丰富時，可以採用。木管的养護費用較高，寿命比其他材料为短，但有的也可用到 30 年以上。木管內需要經常充滿水，水压力变化不要太大，尤其不能承受負压力（即低於大气压力），在峯荷运轉的电站，水管內水流時斷時續，用这种材料便不甚適宜。

第四章　廠　房

一、影响水电站廠房型式选擇的因素

影响水电站廠房型式选擇的因素是水头、机組容量和構成水头的方法。按照水头的大小，水电站可以分为低水头、中水头和高水头三類。低水头的水电站，廠房和進水閘相連，廠房建築物也承受上游的水压力，所以叫做承受水压式的廠房。中水头和高水头的水电站，廠房和進水閘分開，中間用压力水管連接起來，所以廠房受不到上游的水压力，叫做不承受水压式廠房。除水头的大小外，与每一机組的容量也有關係，机組容量大的，則 20～25 公尺的水

头也可採用承受水压式廠房，如机組容量很小，則水头虽小於10公尺，仍可採用進水閘与廠房分開的型式。

水头構成的方法有兩种：卽造堤壩和做水道，前者叫堤壩式水电站，後者叫水路式水电站，有時水头是由兩部分構成的，那就叫混合式水电站。堤壩式水电站的廠房一般總是設在堤壩的後面，廠房可以是承受水压式或不承受水压式，水路式和混合式水电站的廠房絕大部分都是不承受水压式的，水路式水电站的水头高的有1700公尺以上。

在选擇廠房型式時要考慮經济与安全，为了經济有時採用戶外式廠房或混合式廠房，为了安全有時採用地下廠房。

二、廠房的類型和特點

（1）戶內式廠房：这類廠房最常用，它的型式如圖43所示。發电机層的上面有房屋，所以上層建築物很高大，其高度由按裝及修理廠房內水輪發电机所用的桥式行車來决定。这种桥式行車就擱在上層建築物的樑上和柱上。因此發电机愈大愈重，則上層建築物就要愈高愈複雜，一般採用鋼筋混凝土建築，大的

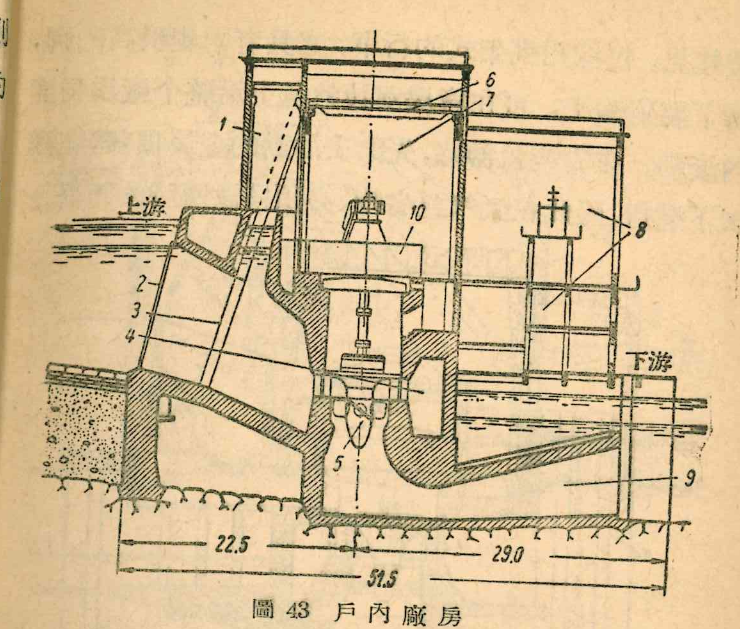


圖 43 戶內廠房

1—閘門室； 2—攔污柵； 3—閘門槽； 4—混凝土蝸殼； 5—水輪机； 6—桥式行車； 7—發电机室； 8—配电室等（副廠房）； 9—尾水管。 10—發电机

廠房則用鋼結構做成。在戶內式廠房內，一年中不論什麼天气都可以進行机器的安裝和檢修，但是上層建築物的建造，無疑是要化很多時間和材料，有時为了縮短施工期限，節省建築材料，就採用戶外式廠房。

（2）戶外式廠房（圖44）也叫露天式廠房，这類廠房的發电机層上面沒有房屋，在每个發电机上，有一个可以活動的金屬頂盖罩住，用來保護机器。为便於安

裝起見，可採用高架式的行車，它具有兩隻很高的脚，脚下裝着輪子，可在廠房兩边軌道上沿整个廠房長度內滾動。在安裝机器時，先除去活動的金屬頂盖，在露天下進行，因此在天气惡劣時，必須搭設臨時的工篷。

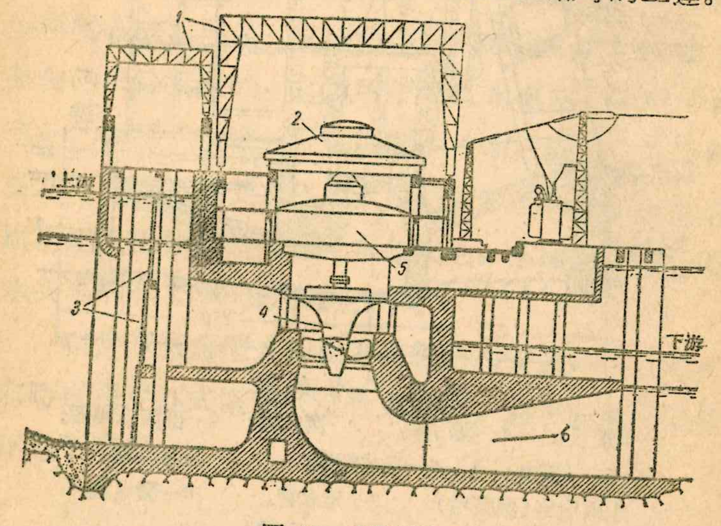


圖 44 戶外廠房

1—高架式行車； 2—活動頂盖； 3—攔污柵；
4—水輪机(轉槳式)； 5—發电机； 6—尾水管。

戶外式廠房因为不要上層建築物，所以造價比較便宜，但是高架式行車比桥式行車要貴得多，选擇時要做經济比較。廠房內安裝的机組數愈多，則採用这种型式的經济效益愈大，在气候惡劣的地區，这种廠房採用得不普遍。

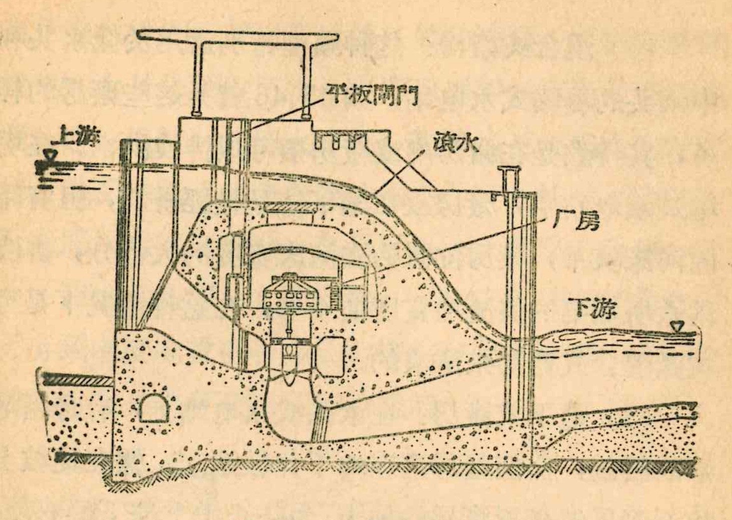


圖 45 混合式廠房(一)

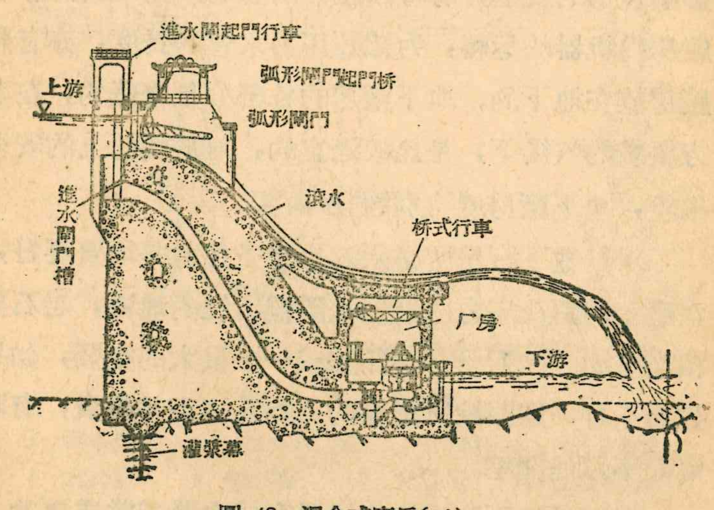


圖 46 混合式廠房(二)

（3）混合式廠房：这种類型特别適用於低水头和中水头的堤壩式水电站，圖 45、46 就是这些廠房的样子，其特點是在廠房內或廠房頂可以排洩洪水。在堤壩式水电站中，廠房放在壩下總是最經济的，但有時因河床狭窄，廠房位置佔去河床寬度的大部分，排洩洪水所需要的溢流堰寬度便不够，在这种情況下是可以做混合式廠房來解决的。

（4）地下式廠房：在水路式水电站上，有時因地形的限制，会使廠房造在地下比較適宜。像在陡坡上找不到足够布置廠房的地方，为防止山上滚下的石塊，影响廠房的安全，有時因压力水管的長度太長，影响廠房內机器的运轉，为縮短压力水管的長度，亦有將廠房放在地下的。地下廠房的各部分是掩蔽的，在北方嚴寒的气候下，是比較適宜的，对於國防上的安全來說，地下廠房就特别適宜（圖 47）。

对於地下廠房所必須的自然条件就是地質要好，在廠房周圍及压力隧洞尾水隧洞所經的地區，岩石要相当坚固。因为廠房要開挖成一个很大的空間，如果岩石不好，則開挖所需要的支撑及襯砌就很貴，有時簡直不可能開挖。

在設計地下廠房時，通風和排水是非常重要的，

为了發电机的冷却以及运轉人員的需要，要引入新鮮空气，为了排除地下水，在廠房周圍的岩層內進行灌漿，建立起特别的排水系統，收集地下水用水泵打出去。廠房的牆及房頂用輕的鋼筋混凝土結構，它和岩石之間用空气縫分開，这样可以防止廠房內潮溼。

在地下通常只有發电机、水輪机及其附屬設备，所有配电变电設备和办公室等均布置在地面，自廠房通至地面必須有交通道和通風道。

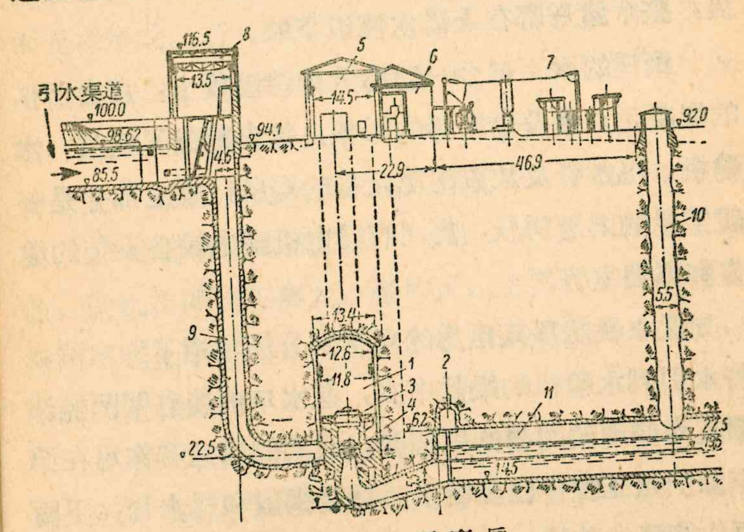


圖 47 地下廠房

1—發电机室； 2—尾水閘門室； 3—發电机； 4—水輪机； 5—起卸室； 6—控制室； 7—升压站； 8—進水閘門室； 9—压力直井； 10—通風井； 11—尾水渠。

三、廠房的水下部分

廠房的結構組成可分兩个性質不同的部分：發电机底板以下的部分称为水下部分，發电机底板以上的部分称为水上部分。这兩个名称嚴格地說只適用在低水头承受水压式廠房，在这裏，發电机層以上的部分大致在上游水位以上，以下的部分在上游水位以下。現在这名称也適用在不承受水压式廠房，虽然在这裏，整个廠房都在上游水位以下的。

廠房的水下部分一般为大体積混凝土，这裏所佔的混凝土量为整个廠房的90%，这裏裝置了蝸殼、水輪机、尾水管及放置附屬設备的場所，水上部分是一般常見的上層房屋，裏面有發电机配电設备安裝的地方和办公室等。

低水头承压式廠房的水下部分还包括了進水閘，將水引到水輪机的蝸殼中去，進水口前裝有閘門攔污栅及为修理閘門用的副閘門，它們的構造和作用在第三節引水工程中已說明了，關於蝸殼和尾水管，下面再作簡略的敍述。

蝸殼是將水引向水輪机導葉去的处所，包圍在水輪机的四周，水流沿水輪机周圍流过時，逐漸流入水

輪机內，故蝸殼內的流量逐漸減少，其断面積也隨着縮小，它在平面上的样式有點像蝸牛的形狀，所以叫做蝸殼。它的形狀因水头的不同，分成兩類：一類叫完全蝸殼，用在中水头不承受水压式廠房，它的包圍角很大（圖 48），有 330° 左右，故它的進水口和水輪机中心間有一定的距离。这种蝸殼一般用金屬製成，如鋼板鑄鋼等，它們的横断面是圓形的，在比較低的水头下，蝸殼也可以用鋼筋混凝土製造，它們的横断面是梯形的。有一類叫不完全蝸殼，用在低水头承受水压式廠房，它的包圍角小（圖 49），一般为 210° 左右，因此進到水輪机去的水，有一部分是直接从進水管進去。在低水头承受水压式廠房中，往往流量很大，因此進水管与蝸殼的尺寸很大，如採用完全蝸殼，則机組間的距离大，廠房長，造價貴，所以總是採用不完全蝸殼的，这种蝸殼也用鋼筋混凝土製成，横断面是梯形的。

高水头水电站当採用衝擊式水輪机時，就不要这种蝸殼，水直接从水管末端的鴨嘴衝射到斗形的水輪机上。

尾水管是水輪机的出水部分，它的作用是減少出口的流速。因为出口的流速是不曾利用的水头換來

的，所以要使它尽可能减小，以增加水輪机的效率。因此尾水管的横断面尺寸，隨着水流方向逐漸加大，最簡單的尾水管型式是圓錐形，一般只用在小型的水电站中，因为圓錐形的擴大角度不能大於11°。因此要擴大到需要的出口尺寸，圓錐形管就要做得很長，增

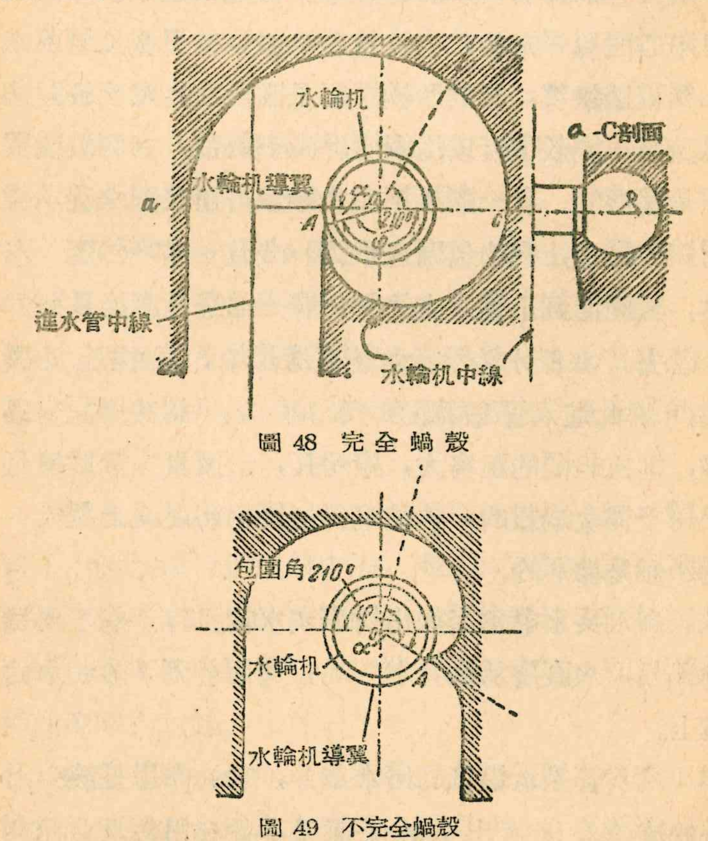


圖 48 完全蝸殼

圖 49 不完全蝸殼

圖 50 低水头承压式廠房剖面

加了基礎的開挖方和混凝土量，所以在較大的电站都是採用轉弯的尾水管(圖50)，这样便在水平的方向上來增加尺寸。

尾水管的形狀对水輪机效率的影响很大，所以在建築廠房水下部分混凝土時，一定要根据設計好的尺寸來造。

尾水管出口处与尾水渠相接，設有閘門及啓門設备，以便尾水管進行檢修時可以擋住下游水位。

四、廠房的水上部分

水电站廠房的水上部分包括放置發电机的机器房、裝配間、配电設备間、修配工場和办公室等，有時上述的某些部分布置在另外的單独房屋中成为副廠房，放發电机等主要設备的房屋称为主廠房(圖51、52、53)。在主廠房內必須要有裝配間，以便施工時及檢修時用。裝配間一般布置在發电机層的末端，最好与發电机層一样高，其長度約等於二机組的中間距离，寬与發电机房相同，有桥式或高架式行車起重。为运輸廠房內的机器設备起見，要有交通公路或鉄路直達廠房前。

修配工場应尽可能靠近裝配間，大的机件通常在

裝配間進行安裝修理，小的运到修配工場去修理。

配电設备間內安設發电机的母線、油開關、电抗器、配电屏和測量电流电压出力的儀表等。

水上部分的房屋建築应該符合机电設备安裝的要求，並要便於运轉管理之用，所以房屋的面積必須足

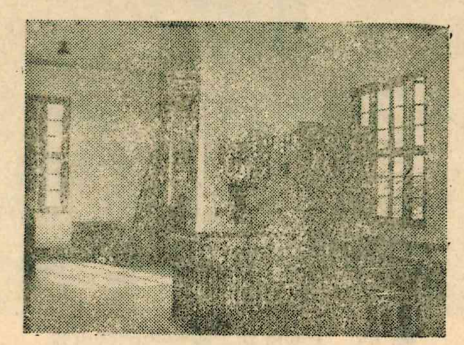


圖 51　小型廠房的配电間

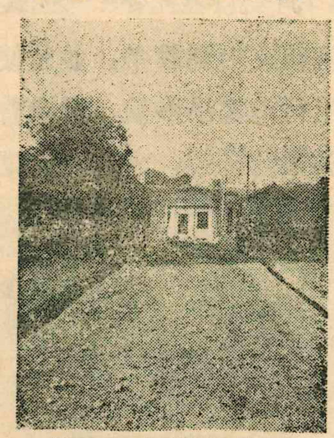


圖 52　小型廠房外景

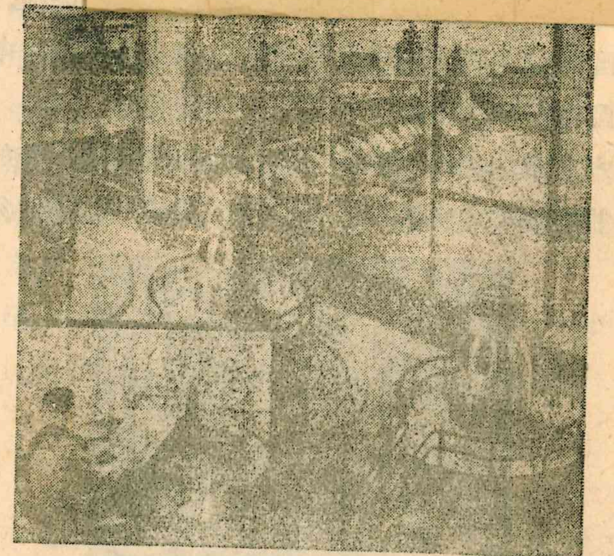


圖 53　大型电站主廠房內的發电机
（左下角为远方控制，背景为攔河壩）

够布置所有的机組及附屬設备，並須便於安裝修理。所有設备应利用行車起吊移動。房屋普通用鋼筋混凝土做成的柱子和梁的排架，大的廠房則用鋼結構的排架。

內 容 提 要

“水力發电常識”是給水力發电系統的工人所編寫的通俗讀物，也可供初学水电知識的讀者閱讀。全書分为六个分册，內容包括：水力發电建設的基本知識、勘測、水能利用、水工結構、施工、机电設备等。本書內容淺顯，沒有特別高深的理論和繁雜的計算公式。有高小文化程度的工人就可以看懂。

第四分册首先介紹了水电站的水工結構物的基本概念和特点，接着介紹攔河壩的用途、主要类型和壩型的选擇，並着重談到水电站的引水工程，最后介紹水电站厂房的类型、特点和厂房的水下、水上部分。



水力發电建設常識

第四分册　水工結構

張　明　顯編著

*

366 S 48

电力工業出版社出版（北京府右街26号）

北京市書刊出版業營業許可証出字第 082 号

北京市印刷一厂印刷　　新華書店發行

*

編輯：程立志　　校对：施娟芳

787×1092 1/32 开本 * 1 7/8 印張 * 25千字

1956年6月北京第1版

1956年6月北京第1次印刷（1—9,100册）

統一書号：T15036·27　　定价（第9类）0.24元